

PLASMA ACCELERATOR ARRANGEMENT

Publication number: DE10014033

Publication date: 2001-10-04

Inventor: KORNFELD GUENTER (DE); SCHWERTFEGER WERNER (DE)

Applicant: THOMSON TUBES ELECTRONIQUES GM (DE)

Classification:

- international: **B64G1/40; F03H1/00; H05H1/54; B64G1/22; F03H1/00; H05H1/00;** (IPC1-7): H05H1/54; B64G1/40; F03H1/00

- European: B64G1/40D; F03H1/00; H05H1/54

Application number: DE20001014033 20000322

Priority number(s): DE20001014033 20000322

Also published as:



WO0171185 (A3)

WO0171185 (A2)

US6803705 (B2)

US2003048053 (A1)

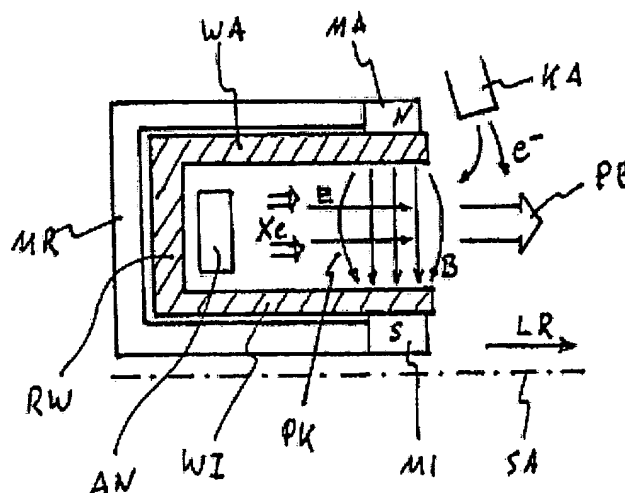
EP1269020 (A0)

more >>

Report a data error here

Abstract of DE10014033

The invention relates to a plasma acceleration arrangement comprising a toroidal plasma chamber. According to the invention, a novel structure of the magnetic and/or electric fields is provided. Said structure makes, especially multistep, embodiments with essentially improved efficiency possible.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 14 033 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
H 05 H 1/54
B 64 G 1/40
F 03 H 1/00

⑲ Aktenzeichen: 100 14 033.5
⑳ Anmeldetag: 22. 3. 2000
㉑ Offenlegungstag: 4. 10. 2001

DE 100 14 033 A 1

⑦① Anmelder:
Thomson Tubes Electroniques GmbH, 89077 Ulm,
DE

⑦④ Vertreter:
Weber, G., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 89073 Ulm

⑦② Erfinder:
Kornfeld, Günter, Dr., 89275 Elchingen, DE;
Schwertfeger, Werner, Dr., 89143 Blaubeuren, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 198 28 704 A1
US 58 47 493 A
EP 09 82 976 A1
EP 05 41 309 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Plasma-Beschleuniger-Anordnung

⑤⑦ Für eine Plasma-Beschleuniger-Anordnung mit toroi-
daler Plasma-Kammer wird eine neuartige Struktur der
magnetischen und/oder elektrischen Felder vorgeschla-
gen, welche insbesondere mehrstufige Ausführungen mit
wesentlichen verbessertem Wirkungsgrad erlaubt.

DE 100 14 033 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Plasma-Beschleuniger-Anordnung.

[0002] Plasma-Beschleuniger-Anordnungen sind insbesondere in Form sogenannter Hall-Anordnungen bekannt. Hierbei wird einer Plasma-Kammer ein ionisierbares Gas, insbesondere ein Edelgas zugeleitet. Die Plasma-Kammer ist im wesentlichen ringförmig um eine zentrale Längsachse und ist in einer zur Längsachse parallelen Haupt-Ausstoßrichtung offen. Der Ausstoßrichtung entgegengesetzt ist am Fuße der Plasma-Kammer eine Anode angeordnet. Eine Kathode als Elektronenquelle ist außerhalb der Plasma-Kammer radial gegen diese versetzt angeordnet. Die Wände der Plasma-Kammer bestehen aus nichtleitendem Material. Ein Magnetsystem erzeugt in der Plasma-Kammer ein im wesentlichen radial ausgerichtetes Magnetfeld durch einen ersten, innenliegenden und einen zweiten, außenliegenden Magnetpol. Ein von der Kathode emittierter Elektronenstrom wird in dem elektrischen Feld zwischen Kathode und Anode beschleunigt und der Plasma-Kammer zugeführt und in der Plasma-Kammer durch das radiale Magnetfeld senkrecht zu dem elektrischen Potentialgradienten und senkrecht zu den Magnetfeldlinien umgelenkt und ionisiert das in der Kammer befindliche Treibstoffgas. Aus dem dabei gebildeten Plasma werden die positiv geladenen Ionen in Ausstoßrichtung beschleunigt. Ein Teil der von der Kathode emittierten Elektronen dient zur Neutralisierung des Ionenstrahls. Eine derartige Anordnung, bei welcher durch eine besondere Magnetfeldausbildung eine Erhöhung des Wirkungsgrads und der Lebensdauer beabsichtigt ist, ist beispielsweise aus der EP 0 541 309 A1 bekannt.

[0003] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine vorteilhafte Plasma-Beschleuniger-Anordnung, insbesondere als Antriebsquelle für Raumflugkörper anzugeben.

[0004] Die Erfindung ist im Patentanspruch 1 beschrieben. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung.

[0005] Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die gegenüber bekannten Anordnungen grundlegend andere Ausgestaltung des Magnetfeldes, welches die Plasma-Kammer durchsetzt. Während bei den bekannten Anordnungen das Magnetsystem mit einem Pol innenliegend und mit einem zweiten Pol außenliegend bezüglich der toroidalen Plasma-Kammer monoton radial ausgerichtet und über einen magnetischen Rückschlußweg hinter der Plasma-Kammer geschlossen ist, sieht die Erfindung ein Magnetsystem vor, welches sowohl radial innenliegend als auch radial außenliegend bezüglich der Plasma-Kammer eine Magnetanordnung mit einem Polwechsel in Längsrichtung, d. h. in einer zur Längsachse der Anordnung parallelen Richtung aufweist. Insbesondere können bei einer bevorzugten Anordnung die Polwechsel von äußerer und innerer Magnetanordnung gleichsinnig sein, so daß sich radial durch die Plasma-Kammer getrennt gleiche Magnetpole der beiden separaten Magnetanordnungen gegenüber stehen.

[0006] Das Magnetsystem kann in einer ersten Ausführung einstufig ausgeführt sein mit für das außenliegende und das innenliegende Magnetsystem jeweils einem Polwechsel durch in Längsrichtung beabstandeten entgegengesetzten Magnetpolen. Wenigstens jeweils einer der beiden Magnetpole befindet sich in Längsrichtung im Bereich der Plasma-Kammer. Vorzugsweise liegen beide in Längsrichtung beabstandeten Pole des einstufigen Magnetsystems innerhalb der Längserstreckung der Plasma-Kammer. Besonders vorteilhaft ist eine Anordnung, bei welcher das Magnetsystem mehrstufig ausgeführt ist mit in Längsrichtung mehreren aufeinanderfolgenden Teilsystemen, von denen jeweils je-

des eine außenliegende und eine innenliegende Magnetanordnung aufweist und bei welchem die in Längsrichtung aufeinanderfolgenden Teilsysteme alternierend gegenseitig ausgerichtet sind.

[0007] Besonders günstig ist eine Plasma-Beschleuniger-Anordnung gemäß der Erfindung, bei welcher zwischen der Kathode und der Anode im Bereich der Seitenwände der Plasma-Kammer noch wenigstens eine Elektrodenanordnung vorliegt, welche auf einem Zwischenpotential zwischen Kathodenpotential und Anodenpotential liegt. Auf einer solchen Elektrode können Elektronen eingefangen werden, welche lediglich Energie aus einem Teil des Potentialgefälles zwischen Kathode und Anode aufgenommen haben. Die Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode kann dadurch in zwei oder mehr Beschleunigungspotentiale unterteilt werden. Verluste durch Elektronen-Wand-Stöße können dadurch wesentlich verringert werden. Insbesondere der elektrische Wirkungsgrad nimmt monoton mit der Anzahl der Potentialstufen zu. Vorteilhafterweise sind die Elektroden in Längsrichtung jeweils zwischen die Polenden eines Magnetsystems bzw. Magnetteilsystems gelegt. Hierdurch ergibt sich ein besonders günstiger Verlauf von elektrischen und magnetischen Feldern.

[0008] Die Erfindung ist nachfolgend unter Bezugnahme auf die Abbildungen anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele noch detailliert erläutert.

[0009] In der Plasmaphysik ist bekannt, daß in Folge der hohen Beweglichkeit der Elektronen bedingt durch ihre geringe Masse im Vergleich zu den meist positiv geladenen Ionen das Plasma sich ähnlich wie ein metallischer Leiter verhält und ein konstantes Potential annimmt.

[0010] Befindet sich ein Plasma zwischen zwei Elektroden unterschiedlichen Potentials, so nimmt das Plasma jedoch näherungsweise das Potential der Elektrode mit dem für die positiven Ionen höheren Potential (Anode) an, weil sich die Elektronen so lange sehr schnell zu der Anode bewegen, bis sich das Potential des Plasmas auf dem näherungsweise konstanten Potential der Anode befindet und das Plasma damit feldfrei ist. Nur in einer vergleichsweise dünnen Grenzschicht an der Kathode fällt das Potential im sogenannten Kathodenfall steil ab.

[0011] In einem Plasma lassen sich also nur dann unterschiedliche Potentiale aufrechterhalten, wenn die Leitfähigkeit des Plasmas nicht isotrop ist. Eine vorteilhafte starke Anisotropie der Leitfähigkeit läßt sich bei der erfindungsge-
mäßigen Anordnung auf günstige Weise erzeugen. Da Elektronen in Folge der Lorentzkraft bei einer Bewegung quer zu Magnetfeldlinien eine Kraft senkrecht zu den Magnetfeldlinien und senkrecht zur Bewegungsrichtung erfahren, lassen sich Elektronen zwar in Richtung der Magnetfeldlinien leicht verschieben, d. h. in Richtung der Magnetfeldlinien besteht eine hohe elektrische Leitfähigkeit und ein Potentialgefälle in dieser Richtung wird leicht ausgeglichen. Einer Beschleunigung der Elektronen durch eine elektrische Feldkomponente senkrecht zu den Magnetfeldlinien wirkt aber die genannte Lorentzkraft entgegen, so daß sich die Elektronen spiralförmig um die Magnetfeldlinien bewegen. Senkrecht zu den Magnetfeldlinien können demzufolge elektrische Felder ohne sofortigen Ausgleich durch Elektronenfluß bestehen. Für die Stabilität solcher elektrischer Felder ist es besonders günstig, wenn die zugehörigen elektrischen Äquipotentialflächen näherungsweise parallel zu den Magnetfeldlinien verlaufen und damit elektrische und magnetische Felder im wesentlichen gekreuzt sind.

[0012] In Fig. 1 ist der prinzipielle Aufbau eines herkömmlichen Plasma-Beschleunigers nach dem Hall-Prinzip (Hall-Thruster) skizziert. Eine Plasma-Kammer PK ist toroidförmig um eine zentrale Symmetrieachse SA ausgeführt

und weist isolierende Seitenwände WA, WI sowie eine Rückwand RW auf. Die Plasma-Kammer ist in einer zur Symmetrieachse SA parallelen Längsrichtung LR offen und kann an dieser Stelle auch ein Beschleunigungsgitter aufweisen.

[0013] Außerhalb der Plasma-Kammer ist einer Kathode KA als Elektronenquelle angeordnet. Eine Anode AN ist an dem der Ausstoßöffnung AU abgewandten fußseitigen Ende der Plasma-Kammer angeordnet. Ein elektrisches Feld E zwischen Anode und Kathode verläuft innerhalb der Plasma-Kammer im wesentlichen parallel zur Längsrichtung LR. Ein Magnetsystem weist einen radial außenliegenden ersten Magnetpol MA (beispielsweise Nordpol) und einen zweiten radial innenliegenden Magnetpol MI (beispielsweise Südpol) auf. Die beiden Magnetpole sind im wesentlichen ringförmig symmetrisch zu der Symmetrieachse SA ausgebildet und über einen magnetischen Rückschluß MR hinter der Plasma-Kammer verbunden. Das Magnetsystem erzeugt in der Plasma-Kammer PK ein im wesentlichen radial ausgerichtetes Magnetfeld B.

[0014] Ein Teil der von der Kathode emittierten Elektronen wird in dem elektrischen Feld zwischen Anode und Kathode beschleunigt und in die Plasmakammer geleitet und dort durch das Magnetfeld B senkrecht zu Bewegungsrichtung der Elektronen und senkrecht zur den Magnetfeldlinien, d. h. in der Skizze im wesentlichen senkrecht zur Zeichenebene abgelenkt. Durch die so erzwungene Driftbewegung der Elektronen um die Symmetrieachse verbleiben diese Elektronen über längere Zeit in der Plasma-Kammer bevor sie auf die Anode AN gelangen. Während der Bewegung innerhalb der Plasma-Kammer erzeugen die Elektronen durch Stöße mit in die Plasma-Kammer eingeleitetem Gas, beispielsweise Xenon, positive Xe-Ionen und Sekundärelektronen. Die Ionen und Elektronen bilden ein hoch leitfähiges Plasma in der Plasma-Kammer. Die Ionen werden aus der Kammer in Längsrichtung ausgestoßen. Um eine Aufladung der Anordnung zu vermeiden, werden dem ausgestoßenen Ionenstrom Elektronen aus der Kathode KA zugeführt, so daß der ausgestoßene Strom elektrisch neutral ist. Eine solche Anordnung ist in verschiedenen Ausführungen an sich bekannt.

[0015] Die Fig. 2 zeigt eine mehrstufige Anordnung nach der vorliegenden Erfindung, bei welcher wiederum in einer im wesentlichen toroidalen Plasma-Kammer, deren Form im einzelnen Variationen zugänglich ist, bei einer der Ausstoßrichtung abgewandten Rückwand eine Anode angeordnet ist. Der Übersichtlichkeit halber sind die Wände der Plasma-Kammer PK nicht mit eingezeichnet. Wesentlich bei der Anordnung nach Fig. 2 ist, daß das Magnetsystem nicht mehr einen äußeren und einen inneren Pol, welche durch einen magnetischen Rückschluß verbunden sind, aufweist, sondern daß bezüglich der Plasma-Kammer außenliegend eine Magnetanordnung RMA vorhanden ist, welche in sich beide entgegengesetzten Magnetpole in Längsrichtung LR beabstandet aufweist. In gleicher Weise ist eine bezüglich der Plasma-Kammer radial innenliegende weitere Magnetanordnung RMI vorgesehen, welche wiederum in sich beide Magnetpole in Längsrichtung LR beabstandet aufweist. Die beiden Magnetanordnungen RMA und RMI stehen sich radial gegenüber mit in Längsrichtung LR im wesentlichen gleicher Erstreckung. Die beiden Magnetanordnungen sind mit gleicher Ausrichtung, d. h. in Längsrichtung LR gleicher Polfolge, im Beispielsfall N-S ausgerichtet. Dadurch stehen sich gleiche Pole (N-N bzw. S-S) radial gegenüber und die magnetischen Felder sind für jede der beiden Magnetanordnungen in sich geschlossen. Der Verlauf der Magnetfelder von radial gegenüberstehenden Magnetanordnungen RMA und RMI kann dadurch durch eine im wesent-

lichen in der Mitte der Plasma-Kammer liegende Mittenfläche getrennt angesehen werden. Die Magnetfeldlinien verlaufen zwischen den Magnetpolen jeder Anordnung gekrümmt, ohne durch diese Mittenfläche, welche nicht notwendigerweise eben ist, hindurchzutreten. Auf jeder radialen Seite einer solchen Mittenfläche wirkt damit im wesentlichen lediglich das Magnetfeld einer der beiden Magnetanordnungen RMA bzw. RMI.

[0016] Ein wesentlicher Unterschied der Anordnung nach Fig. 2 besteht darin, daß das Magnetfeld in der Plasma-Kammer nicht zwischen zwei entgegengesetzten Polen im wesentlichen monoton radial verläuft, sondern die Magnetfeldlinien auf derselben radialen Seite der Mittenfläche in der toroidalen Plasma-Kammer geschlossen werden.

[0017] Die vorstehenden Ausführungen sind auf ein Magnetsystem mit lediglich einer einfachen inneren und äußeren Magnetanordnung bezogen. Eine solche Magnetanordnung kann beispielsweise durch zwei konzentrische ringförmige Permanentmagnete mit im wesentlichen parallel zur Symmetrieachse SA beabstandeten Polen gebildet sein. Eine solche Anordnung ist isoliert in Fig. 4 skizziert.

[0018] Eine besonders vorteilhafte Ausführung der Erfindung sieht vor, in Längsrichtung LR zwei oder mehrere solcher Anordnungen hintereinander anzuordnen, wobei die Polausrichtung aufeinanderfolgender Magnetanordnungen gegenseitig ist, so daß die sich in Längsrichtung gegenüberstehenden Pole aufeinanderfolgender Magnetanordnungen gleichartig sind und somit kein magnetischer Feldkurzschluß auftritt und die zu der einstufigen Ausführung beschriebenen Feldverläufe im wesentlichen für alle aufeinanderfolgenden Stufen erhalten bleiben.

[0019] Die aufeinanderfolgenden Magnetfelder wirken zum einen fokussierend auf die von der Kathode emittierten und in die Plasma-Kammer geleiteten Primär-Elektronen und verhindern zum anderen den Abfluß von in der Plasma-Kammer erzeugten Sekundärelektronen von einer Stufe zur nächsten.

[0020] Bevorzugt ist eine Plasma-Beschleuniger-Anordnung, bei welcher neben Kathode und Anode noch wenigstens eine weitere Elektrode vorgesehen ist, welche auf einem Zwischenkathodenpotential und Anodenpotential liegenden Zwischenpotential liegt. Eine solche Zwischenelektrode ist vorteilhafterweise an wenigstens einer Seitenwand, vorzugsweise in Form von zwei Teilelektroden gegenüberliegend an der inneren und äußeren Seitenwand der Plasma-Kammer angeordnet. Insbesondere günstig ist es, die Elektrode in ihrer Lage in Längsrichtung zwischen zwei Magnetpole zu positionieren. In der Anordnung nach Fig. 2 sind in Längsrichtung mehrere Stufen S0, S1, S2 mit jeweils einem magnetischen Teilsystem und jeweils einem Elektrodensystem vorgesehen. Die magnetischen Teilsysteme bestehen jeweils aus einem inneren und einem äußeren Magnetring wie bereits beschrieben und in Fig. 4 skizziert. Die Teilelektrodensysteme umfassen in den aufeinanderfolgenden Stufen S0, S1, S2 jeweils einen äußeren Elektrodenring AA0, AA1, AA2 und radial gegenüberstehend einen inneren Elektrodenring AI0, AI1, AI2, wobei die Erstreckung der Elektroden in Längsrichtung für die äußeren und die inneren Ringe im wesentlichen gleich ist. Die einander gegenüberstehenden Elektrodenringe jedes Teilsystems, also AA0 und AI0 bzw. AA1 und AI1 bzw. AA2 und AI2 liegen jeweils auf gleichem Potential, wobei insbesondere die Elektroden AA0 und AI0 auf Massepotential der gesamten Anordnung liegen können. Die durch die Elektroden erzeugten elektrischen Felder verlaufen in für die Ausbildung des Plasmas wesentlichen Bereichen annähernd senkrecht zu den magnetischen Feldlinien. Insbesondere im Bereich der größten Potentialdifferenz zwischen den Elektroden aufeinanderfol-

genden Stufen verlaufen die magnetischen und elektrischen Feldlinien im wesentlichen gekreuzt, so daß die entlang der Bahn der Primärelektronen erzeugten Sekundärelektronen keinen direkten Kurzschluß der Elektroden verursachen können. Da sich die Sekundärelektronen nur entlang der Magnetfeldlinien des im wesentlichen toroidalen mehrstufigen Magnetsystems bewegen können, bleibt der erzeugte Plasmastrahl im wesentlichen auf das Zylinderschichtvolumen der fokussierten Primärelektronen begrenzt. Ausbuchtungen des Plasmas gibt es im wesentlichen lediglich im Bereich des Vorzeichenwechsels der axialen Magnetfeldkomponente, wo das Magnetfeld im wesentlichen radial auf die Pole der Magnetanordnungen zeigt.

[0021] Bei der skizzierten Anordnung ergeben sich Plasmakonzentrationen in Längsrichtung in Positionen zwischen aufeinanderfolgenden Elektroden, welche zugleich mit den Polstellen der aufeinanderfolgenden Magnetanordnungen zusammenfallen. Mit der in Fig. 2 skizzierten Anordnung kann vorteilhafterweise das Plasma in den einzelnen aufeinanderfolgenden Stufen auf die stufenweise unterschiedlichen Potentiale der aufeinanderfolgenden Elektroden gelegt werden. Hierzu sind insbesondere die Elektroden und die Magnetanordnungen in Längsrichtung so angeordnet, daß die räumlichen Phasenlagen des quasiperiodischen Magnetfelds gegenüber dem gleichfalls quasiperiodischen elektrischen Felds gemessen zwischen Betragsminimum des axialen magnetischen Felds gegen Elektrodenmitten um maximal $\pm 45^\circ$, insbesondere maximal $\pm 15^\circ$ verschoben ist. Hierbei kann ein Kontakt der Magnetfeldlinien mit der an der Seitenwand der Plasma-Kammer angeordneten Elektrode erreicht und durch die leichte Verschiebbarkeit der Elektronen entlang der Magnetfeldlinien das Plasmapotential auf das Elektrodenpotential dieser Stufe gesetzt werden. Die Plasma-Konzentrationen zu verschiedenen aufeinanderfolgenden Stufen befinden sich damit auf unterschiedlichen Potentialen.

[0022] Der Ort des größten Potentialgradienten in axialer Richtung liegt damit in einer Plasmaschicht, die durch die in axialer Richtung elektrisch isolierend wirkenden radialen Magnetfeldverläufe gekennzeichnet ist. An diesen Stellen erfolgt im wesentlichen die Beschleunigung der positiven Ionen in Richtung des für diese in Längsrichtung fallenden elektrischen Potential. Da genügend Sekundärelektronen vorhanden sind, welche als Hallströme aufgeschlossenen Driftbahnen in der toroidalen Struktur kreisen, wird ein im wesentlichen neutrales Plasma in Längsrichtung zur Ausstoßöffnung der Plasma-Kammer hin beschleunigt. Dabei geben sich in einer Schichtebene an einer bestimmten Position in Längsrichtung LR der Anordnung in unterschiedlichen Radien entgegengesetzte ringförmige Hallströme II bzw. IA wie in Fig. 2 und Fig. 3 skizziert.

[0023] Die genannte günstige Phasenverschiebung der quasiperiodischen magnetischen und elektrischen Strukturen läßt sich zum einen durch eine Anordnung nach Fig. 2 mit der genannten zulässigen Verschiebung der Elektroden gegenüber der dort skizzierten Position um die genannten maximal $\pm 45^\circ$, insbesondere maximal $\pm 15^\circ$ erreichen. Eine alternative Variante ist in Fig. 5 skizziert, wo die Periodenlänge der in Längsrichtung beabstandeten Elektrodenstufen AL_i , AL_{i+1} doppelt so groß ist wie die Periodenlänge aufeinanderfolgender Magnetringanordnungen. Eine solche Anordnung kann auch in Stufen mit gegenüber Fig. 2 doppelter Länge unterteilt werden, welche dann jeweils zwei entgegengerichtete Magnet-Teilsysteme und ein Elektroden-System enthalten.

[0024] Bei der in Fig. 5 skizzierten Anordnung ergeben sich in Bereichen, wo die Elektroden die Polstellen aufeinanderfolgender Magnet-Teilsysteme überbrücken, Kontakt-

zonen, an welchen die den Magnetlinien folgenden Sekundärelektronen von den Elektroden aufgenommen werden und somit eine Kontaktzone zwischen dem Plasma und einer Elektrode entsteht, wogegen an Polstellen, welche zugleich zwischen zwei in Längsrichtung aufeinanderfolgenden Elektroden liegen, eine Isolationszone mit hohem Potentialgradient im Plasma entsteht.

[0025] In einer anderen Ausführungsform können gegenüberstehender äußerer Magnetring und innerer Magnetring des Magnetsystems bzw. eines Magnet-Teilsystems auch mit entgegengesetzter Polausrichtung vorgesehen sein, so daß sich in einem Längsschnitt durch die Anordnung wie in Fig. 2 zu jeder Stufe ein magnetisches Quadrupol-Feld ergibt. Die übrigen geschilderten Maßnahmen gemäß der Erfindung sind bei einer solchen Anordnung in entsprechender Weise anwendbar.

[0026] Die vorstehend und in den Ansprüchen angegebenen Merkmale sind sowohl einzeln als auch in verschiedenen Kombinationen vorteilhaft realisierbar. Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern im Rahmen fachmännischen Könnens auf mancherlei Weise abwandelbar. Insbesondere ist nicht zwingend eine strenge Symmetrie um die Symmetrieachse SA erforderlich. Vielmehr kann eine gezielte Unsymmetrie dem symmetrischen Verlauf überlagert sein. Die Ringform von Feldern, Elektroden oder Magnetanordnungen bedeutet nicht notwendigerweise eine kreiszylindrische Form, sondern kann von einer solchen sowohl hinsichtlich der Dreh-symmetrie als auch des zylindrischen Verlaufs in Längsrichtung abweichen.

Patentansprüche

1. Plasma-Beschleuniger-Anordnung mit einer Kathode, einer Anode und einer zwischen Kathode und Anode angeordneten Plasma-Kammer mit einem ionisierbaren Gas, wobei die Ionisationskammer im wesentlichen ringförmig um eine zentrale Längsachse ausgebildet ist und ein Magnetsystem eine äußere und eine innere Magnetanordnung aufweist, welche radial durch die Plasma-Kammer getrennt sind und jede für sich in Längsrichtung wenigstens einen Polwechsel in Längsrichtung aufweist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetpole wenigstens einer, vorzugsweise beider Magnetanordnungen im Bereich der Längserstreckung der Plasma-Kammer liegen.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Polwechsel in Längsrichtung für beide Magnetanordnungen gleichsinnig sind.
4. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Polwechsel in Längsrichtung für beide Magnetanordnungen gegensinnig sind.
5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß an wenigstens einer Seitenwand der Plasma-Kammer eine Elektrodenanordnung vorgesehen ist, welche elektrisch auf einem Zwischenpotential zwischen den Potentialen von Kathode und Anode liegt.
6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung zwei an gegenüberliegenden Seitenwänden der Plasma-Kammer angeordnete Teilelektroden umfaßt.
7. Anordnung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung in Längsrichtung zwischen den Magnetpolen einer Magnetanordnung liegt.
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, da-

durch gekennzeichnet, daß mehrere Magnetanordnungen in Längsrichtung aufeinanderfolgend mit alternierender Polausrichtung vorgesehen sind.

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Zwischen-Elektroden in Längsrichtung aufeinanderfolgend auf gestufter Zwischen-Potentialen liegend an den Seitenwänden der Plasmakammer angeordnet sind. 5

10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Teil der Zwischenelektroden in Längsrichtung Polstellen aufeinanderfolgender Magnetanordnungen teilweise oder vollständig überdeckt. 10

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

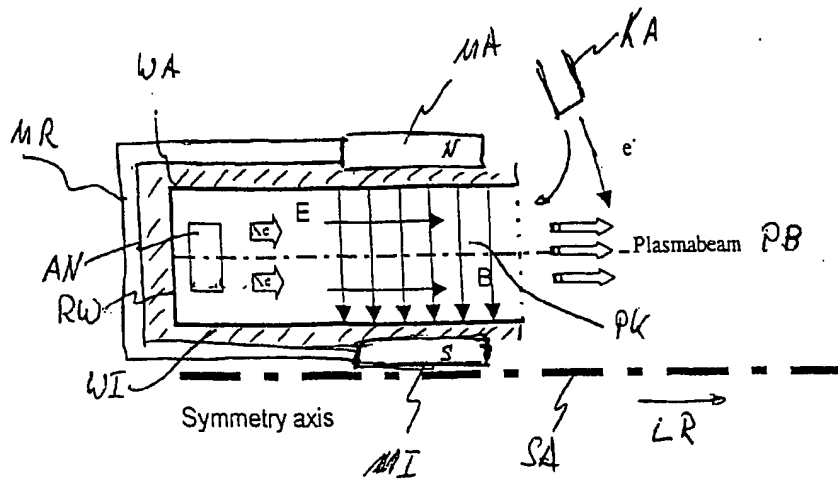


Fig. 1

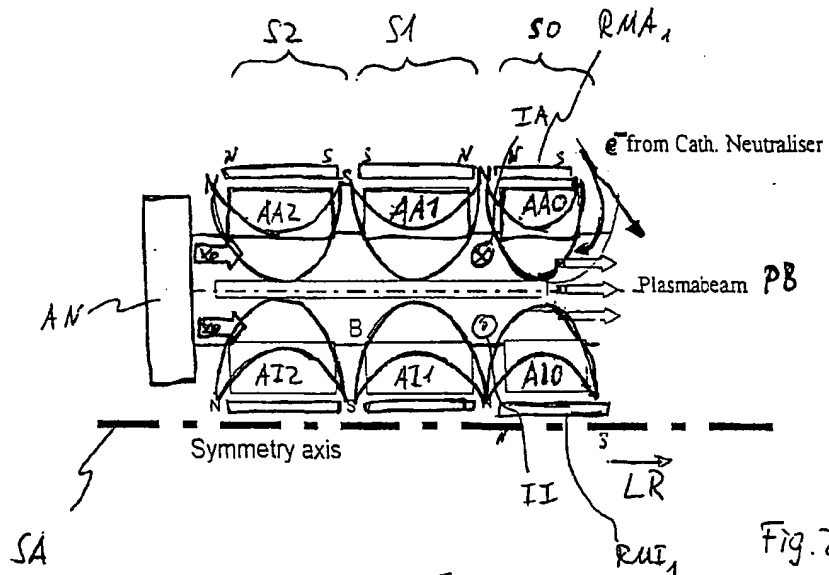


Fig. 2

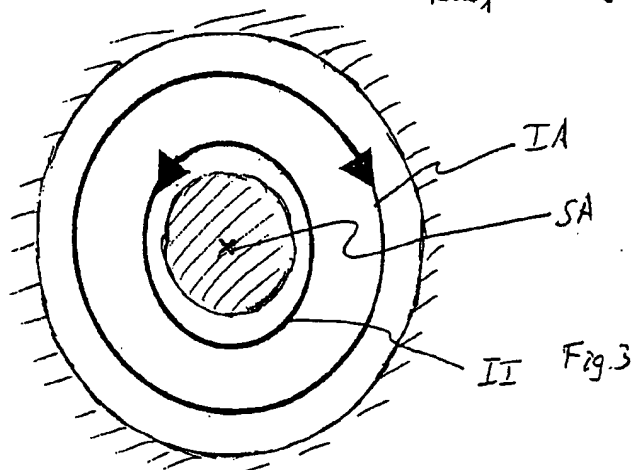


Fig. 3

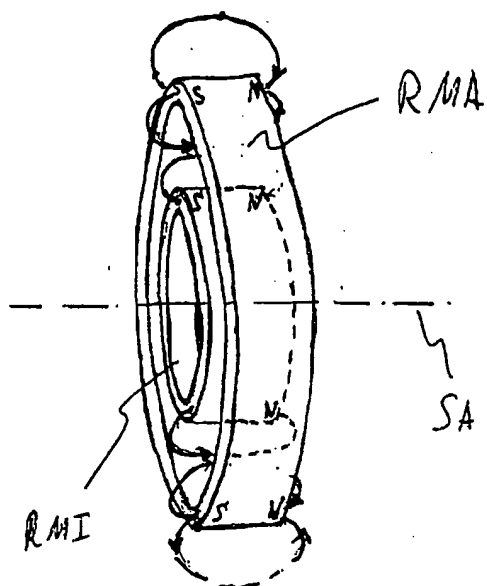


Fig. 4

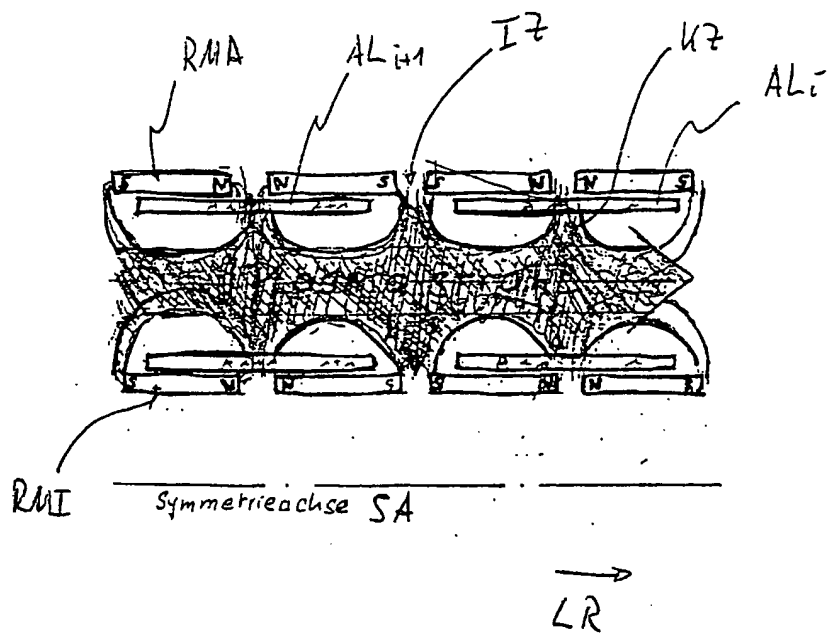


Fig. 5